Appareils sous pression : compresseurs et blocs

Préparation niveau 4

Angelina Marzo – angelinamarzo@free.fr
Arnaud Mélèse – plouf@melese.com
29/01/2011

Appareils sous pression : compresseurs et blocs

- Rappels de physique et notions de mécanique
- Réglementation
- Les blocs
- Le compresseur
- Règles de sécurité
- Température et pression
- Stratégies de gonflage : les tampons

Rappels de physique

- Loi de Boyle-Mariotte

$$\mathbf{PV = C^{te}}$$

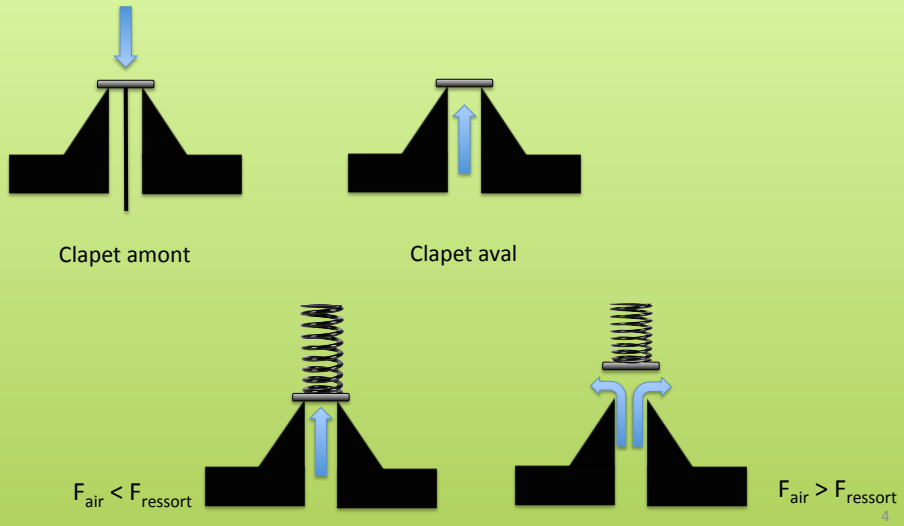
À température constante, $P_1V_1 = P_2V_2 = \ldots$

- Pression : force appliquée sur une surface

En plongée $P_{bar} = F_{Kgf} / S_{cm^2}$

3

Mécanique : l'ensemble siège/clapet



4

Réglementation

- Décret du 13 décembre 1999
- Arrêté du 15 mars 2000

→ définition des appareils concernés
→ conformité, mise en service, entretien
→ conditions d'utilisation
→ obligation d'inspection périodique

5

Réglementation : les blocs

Types de bloc	Visites	Réépreuves	Remarques
Bouteilles de plongée (acier ou aluminium)	1 an	2 ans	Cas général
	1 an	5 ans	Régime TIV
Bouteilles de bouée (acier ou aluminium)	*Idem blocs plongée*		V > 1 l : contrôles V < 1 l : Ø contrôle !!!
Tampons	40 mois	10 ans	
Filtres de compresseurs	*Idem tampons*		
Bouteilles d'appareils de réanimation (acier ou aluminium)	40 mois	10 ans	Soumises à AMM

Documents de référence : arrêtés du 23 juillet 1943, 20 février 1985, 18 novembre 1986, 17 décembre 1997, 15 mars 2000

(*) Attention, les blocs en AG5 sont interdits d'utilisation au delà de 10 ans

6

Les blocs

- Matériaux : acier, aluminium, carbone
- Différents volumes : 4 à 18 l
- Robinetterie : ¾ DIN 259 (¾ gaz), M18 x 15, **M25 x 2**, conique E17

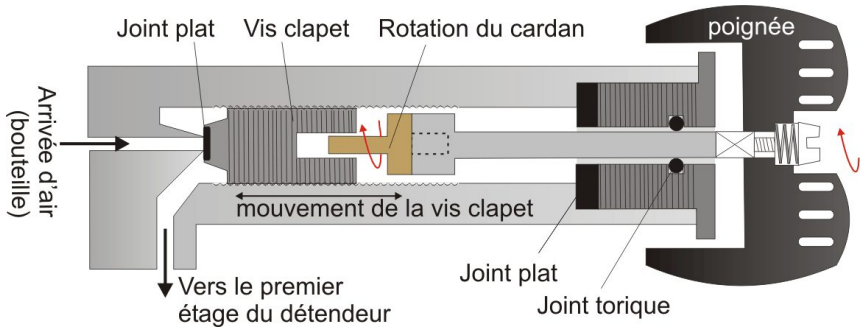
Précautions

- Éviter les chocs
- Éviter un gonflage excessif (au delà de la pression de service)
- Éviter l'exposition au soleil, les gonflages et dégonflages rapides
- Éviter la corrosion extérieure : peinture, filet de protection
- Stocker debout

La robinetterie

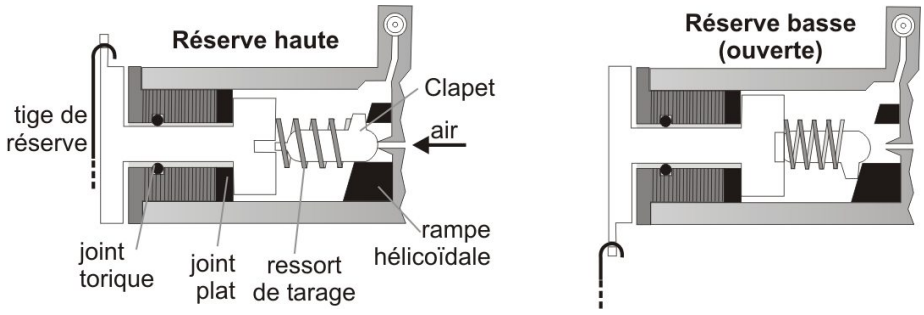
8

Principe de fonctionnement du robinet



9

Fonctionnement de la réserve



10

Marques d'identité et de service

- Nom du constructeur (ou son sigle)
- Date de fabrication
- Numéro de série
- Nature du gaz
- Volume intérieur
- Pression de service (170 bar, 200 bar, 230 bar…)
- Pression d'épreuve en bars, (1.5 x PS à 15°C)
- Marque CE (ou poinçon des Mines)
- Date de la dernière épreuve
- Autocollant d'inspection visuelle (le cas échéant)

11

Marques d'identité et de service

12

Les blocs : cas du Nitrox

- Mélange < 40 % O_2 : possibilité d'utiliser les mêmes équipements
- Mélange > 40 % O_2 : matériel compatible O_2 pur (robinets et joints verts)
- Réglementation pour les blocs Nitrox :
  - robinetterie au filetage M26
  - identification claire des blocs contenant des mélanges autres que l'air

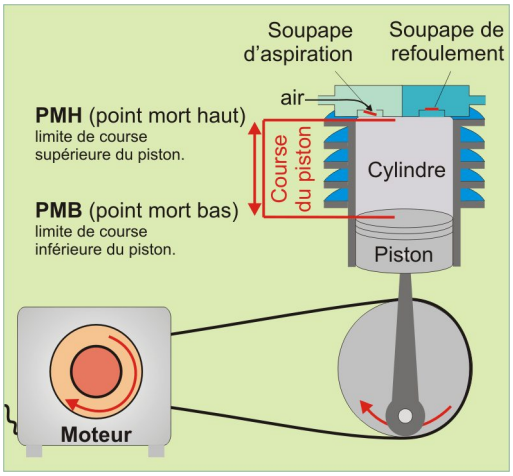
13

Le compresseur

- Faire entrer une grande quantité d'air dans un petit volume
- Repose sur la **loi de Mariotte** : PV = C^{te}
- Variation du volume de l'air grâce à une **force** exercée par un piston
- Compression multi-étages

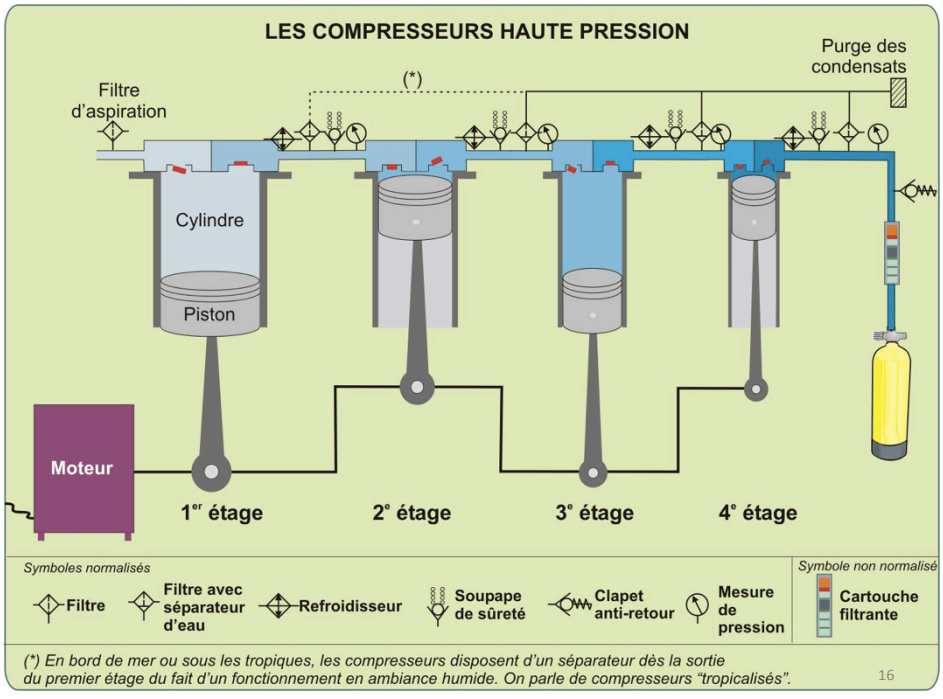
14

Un piston : un étage de compression



Taux de compression : $T_C = V_{MH}/V_{MB}$

15



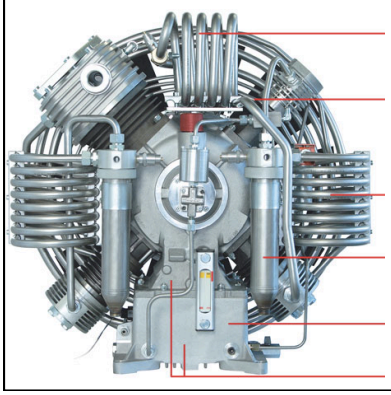
16

La lubrification

- Barbotage ou injection
- Huile spéciale :
  - minérale ou synthétique
  - point de craquage élevé (efficacité jusque ~400°C)
  - non toxique

17

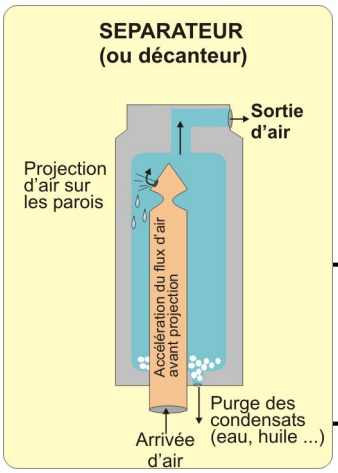
Le refroidissement



- Augmentation de la pression ➔ augmentation de la température
- Refroidissement par air ou par eau
- Entraîne une condensation ➔ récupérer l'eau

18

Élimination des condensats



– Humidité : crée de la rouille et empêche le bon fonctionnement des pistons (non compressible)
– Huiles : toxiques pour le plongeur

→ Condensats éliminés par séparation

→ Purge automatique ou manuelle

19

Sécurité inter-étage

Entre les pistons :

- soupape de sécurité
- couplée à un coupe-circuit
- manomètre de contrôle

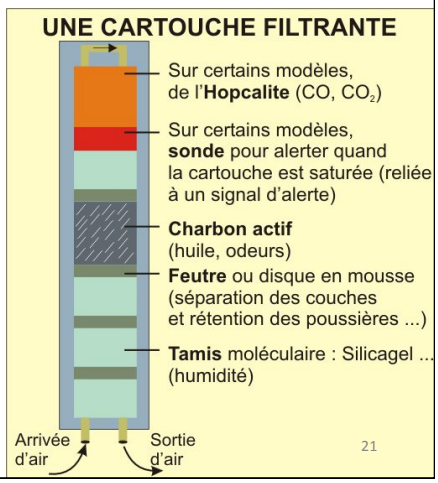
En fin de circuit, avant le bloc :

- clapet anti-retour

20

Filtration et purification de l'air

- Air destiné à être respiré doit être purifié
- Filtration à l'aspiration
- Cartouche filtrante en sortie : humidité, huile, poussières, CO, CO_2…
- Cartouche contrôlée et changée régulièrement



Guide de dépannage

Panne	Cause possible
Démarrage impossible	- Panne moteur - Défaut d'alimentation - Compresseur grippé
Excès de pression inter-étage	- Problème clapet d'aspiration suivant
Pression ou débit insuffisant	- Filtre d'aspiration bouché - Problème clapet d'aspiration 1er étage - Fuite - Usure piston/cylindre - Courroie de transmission - Soupape non étanche - Anomalie sur un clapet
Échauffement anormal	- Utilisation trop intensive - Circuit de refroidissement défectueux - Sens de rotation incorrect
Bruit excessif	- Manque d'huile - Transmission désalignée

22

Appareils sous pression : risques

- Électrocution
- Courroies et ventilateurs en mouvement

- Rupture de flexible
- Chute de blocs
- Explosion
- Risque pour les oreilles

http://www.youtube.com/watch?v=IOUj6rGXuW4&feature=related

Rappel des règles de sécurité

Accès et utilisation règlementés
Affichage obligatoire : voir « Station de gonflage » de la FFESSM

- Personnel habilité - inscrit sur le registre du club :
  - connaît les risques
  - connaît le matériel utilisé
  - effectue les vérifications avant usage
- Notice d'utilisation du compresseur à l'usage des « gonfleurs », procédure d'arrêt d'urgence et consignes de sécurité
- Matériel contrôlé et entretenu : registres d'utilisation et d'entretien

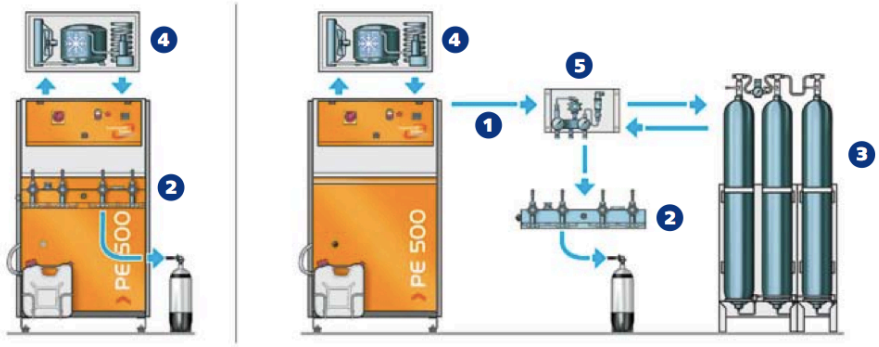
Précautions d'usage

Avant le gonflage	Après le gonflage
Vérifier la prise d'air	Remplir le carnet de suivi
Vérifier le niveau d'huile	Vérification régulier du compresseur
Vérifier le fonctionnement de la soupape	Changement d'huile (au moins une fois par an)
Vérifier le circuit de refroidissement	
Tester l'arrêt d'urgence	
Vérifier la pression de service des blocs	Stocker les blocs debout
Purger les robinetteries	Entretien régulier des blocs

25

La station gonflage

Système de remplissage complet



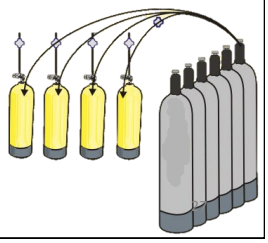
1. Connexion de remplissage pour rampe externe et stockage.
2. Rampe à poste sur le compresseur ou montage externe. Versions 200, 300 bar ou 200 + 300 bar avec détendeur.
3. Stockage tampon 2 à 4 bouteilles.
4. Sécheur frigorifique "AIR-KOOL" afin de multiplier la durée de vie de la cartouche.
5. Gestion automatique de la priorité de gonflage (déverseur).

26

Les bouteilles tampons

- Réserve d'air comprimé qui peut être transférée immédiatement dans les blocs à gonfler
- Bouteilles de grande capacité (30 l, 50 l) gonflées à haute pression (250 bar, 300 bar)
- Les tampons sont chargés pendant les heures creuses du club (plongées)

  ➔ Gain de temps de gonflage



Température et pression des blocs

- Loi de Boyle-Mariotte : $PV = C^{te}$ à température constante
- La compression entraîne une variation de la température : $PV/T = C^{te}$
- En utilisant des volumes constants, on a la **loi de Charles** :

$$\mathbf{P / T = C^{te}}$$

$P_1/T_1 = P_2/T_2 = \ldots$

Attention : température en Kelvin K = 273 + °C
(ex : 23 °C <-> 296 K)

28

Température et pression des blocs

Mon bloc de 200 bar est en plein soleil et chauffe à 60°C.

Je m'immerge dans de l'eau à 17°C.

Quelle est sa nouvelle pression ?

Température et pression des blocs

$P_1/T_1 = P_2/T_2 = C^{te} \rightarrow P_2 = P_1/T_1 \times T_2$

$P_1 = 200$ bar
$T_1 = 273 + 60 = 333$ K
$T_2 = 273 + 17 = 290$ K

$P_2 = 200 / 333 \times 290 \approx 174$ bar

En tenir compte pour la balade !

Stratégies de gonflage

- Gonfler des blocs avec le compresseur seul
- Gonfler un bloc avec un tampon
- Gonfler plusieurs blocs avec un tampon
- Gonfler plusieurs blocs avec plusieurs tampons :
  - tous en même temps
  - le plus rempli d'abord, puis le moins rempli
  - le moins rempli puis le plus rempli

31

Principes de calcul

- On met les bouteilles en communication, donc leurs pressions s'équilibrent :

$$P_e = \frac{P_1V_1 + \ldots + P_nV_n}{(V_1 + \ldots + V_n)}$$

- Quelle quantité d'air manque t'il pour gonfler les blocs à la pression voulue ?
- À l'issu du gonflage, que reste t'il dans les tampons ?

32

Gonfler des blocs avec le compresseur seul

On rentre de plongée avec 3 blocs de 12 l remplis à 50 bar.

Combien de temps faudra-t-il pour les gonfler à 200 bar avec un compresseur de 20 m^3/h ?

$$\text{Temps de gonflage} = \frac{\text{quantité d'air nécessaire}}{\text{débit du compresseur}}$$

33

Gonfler des blocs avec le compresseur seul

- *Dans chaque bloc on a 50 bar, donc il en manque 150 pour les porter à 200 bar.*
- *Quantité d'air nécessaire :*

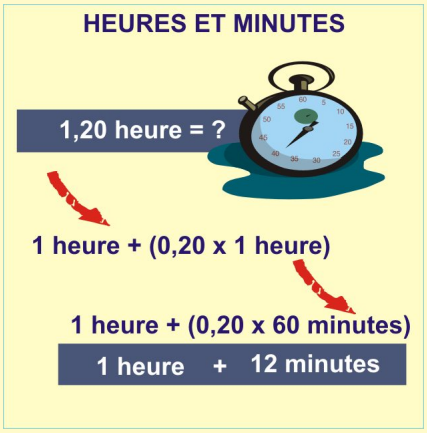
3 x 12 x 150 = 5400 l ou 5,4 m^3

- *Débit du compresseur : 20 m^3/h*
- *Cela prend donc 5,4 / 20 = 0,27 h*

soit ~16' (0h + 0,27 x 60 min)

34

Calculs sur les heures et minutes



35

Gonfler un bloc avec un tampon

On a une bouteille de 15 l à 50 bar.

Peut-on la gonfler à 200 bar avec un tampon de 50 l gonflé à 300 bar ?

36

Gonfler un bloc avec un tampon

- Pression d'équilibre

$(P_1V_1 + P_2V_2) / (V_1 + V_2) = (50 \times 15 + 300 \times 50) / (50 + 15) = 15750 / 65$
$= 242{,}3$ bar > 200 bar, on peut gonfler !

- Air nécessaire pour gonfler à 200 bar

$(P_{finale}-P_{initiale}) \times V = (200 - 50) \times 15 = 2250$ l

On arrête le gonflage quand les 200 bar sont atteints

- Pression du tampon après gonflage

Air total contenu dans le tampon : PV = 300 x 50 = 15000 l
Pression finale du tampon : (15000 - 2250) / 50 = 255 bar

Gonfler plusieurs blocs avec un tampon

Soit un bloc de 12 l vide et un autre de 15 l contenant 30 bar d'air.

On dispose d'un tampon de 150 l à 300 bar.

Peut-on gonfler les blocs à 200 bar ?

Les tampons : gonfler plusieurs bouteilles avec un tampon

- Pression d'équilibre des 3 blocs

Bloc « vide » : à pression ambiante, donc 1 bar

$(P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3) / (V_1 + V_2 + V_3)$
$= (1 \times 12 + 30 \times 15 + 300 \times 150) / (12 + 15 + 150)$
≈ 257 bar > 200, on peut gonfler !

- Utilisation des tampons

On a un ensemble de $(1 \times 12 + 30 \times 15) / (12 + 15) \approx 17$ bar dans 27 l
Air nécessaire : $(P_f - P_i) \times V = (200 - 17) \times 27 = 4941$ l

- Air restant dans le tampon

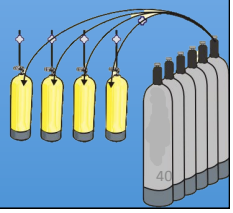
Air total : $150 \times 300 = 45000$ l
Air restant : $(45000 - 4941) / 150 \approx 267$ bar

39

Les tampons : gonfler plusieurs bouteilles avec plusieurs tampons

Soit un bloc de 12 l à 30 bar et un de 15 l à 50 bar.
On a deux tampons, 50 l à 220 bar et 50 l à 270 bar.

Peut-on gonfler les blocs à 200 bar ?
Vaut-il mieux utiliser les tampons ensemble, ou l'un après l'autre ?
Lequel en premier ?



40

Les tampons : gonfler plusieurs bouteilles avec plusieurs tampons

Cas numéro 1 : utiliser les 2 tampons ensemble

- Équilibrage des blocs (tampons fermés)

(30x12+50x15)/(12+15) = 1110/27 ≈ 41 bar pour un ensemble de 27 l

- Équilibrage des blocs avec les tampons

(41x27+220x50+270x50)/(27+50+50) = (1107+11000+13500)/127 ≈ 202 bar
On s'arrêtera à 200 bar

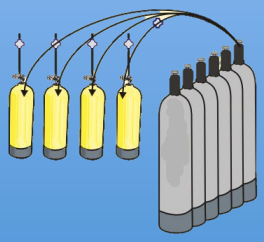
- Air nécessaire : (200 - 41) x 27 = 4293 l

- Air disponible dans les tampons

(220 x 50 + 270 x 50) = 24500 l

- Pression finale des tampons

[24500 - 4293] / (50 + 50) ≈ 202 bar



41

Les tampons : gonfler plusieurs bouteilles avec plusieurs tampons

Cas numéro 2 : utiliser d'abord le tampon le plus rempli

- Équilibrage des blocs (tampons fermés) : 41 bar pour un volume total de 27 l (cf. n°1)

Pour les gonfler à 200 bar, on a besoin de (200 - 41) x 27 = 4293 l d'air

- Ouverture du tampon le plus rempli

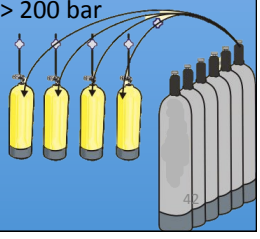
P_e = (41 x 27 + 270 x 50) / (27 + 50) = 14607 / 77 ≈ 190 bar < 200 bar
On a besoin du 2ème tampon

- Fermeture du premier tampon et ouverture du deuxième

P_e = (190 x 27 + 220 x 50) / (27 + 50) = 16130 / 77 ≈ 209 bar > 200 bar

- Pression résiduelle du deuxième tampon

Air total : 220 x 50 = 11000 l
Air utilisé : (200 - 190) x 27 = 270 l
Air restant : (11000 - 270) / 50 ≈ 215 bar



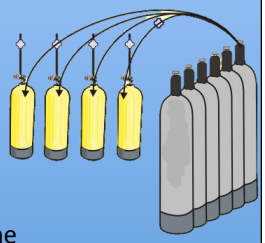
42

Les tampons : gonfler plusieurs bouteilles avec plusieurs tampons

Cas numéro 3 : utiliser d'abord le tampon le moins rempli

- Équilibrage des blocs (tampons fermés) : 41 bar pour un ensemble de 27 l

Pour les gonfler à 200 bar, on a besoin de
(200 - 41) x 27 ≈ 4293 l d'air



- Utilisation du tampon le moins rempli

(41 x 27 + 220 x 50) / (27 + 50) ≈ 157 bar < 200 bar

- Fermeture du premier tampon et ouverture du deuxième

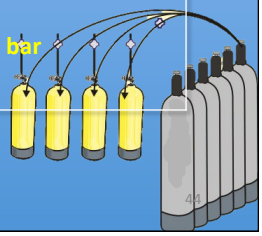
Équilibre : (157 x 27 + 270 x 50) / (27 + 50) ≈ 230 bar > 200 bar

Air nécessaire : (200 - 157) x 27 = 1161 l
Pression résiduelle dans le tampon [(50 x 270) - 1161] / 50 ≈ 247 bar

43

Synthèse : gonfler plusieurs blocs avec plusieurs tampons

	Tampon n°1 : 220 bar	Tampon n°2 : 270 bar
Cas n°1 : les tampons ensemble	202 bar	202 bar
Cas n°2 : le tampon le plus rempli d'abord, puis le moins rempli	190 bar	215 bar
Cas n°3 : le tampon le moins rempli d'abord, puis le plus rempli	157 bar	247 bar



44

C'est fini, merci !

Documents fournis

- Textes réglementaires : arrêtés du 21/12/99 et du 15/03/00
  http://www.legifrance.gouv.fr
- Manuel de Formation Technique : TIV, Station de Gonflage
  http://www.infoplongee.fr/